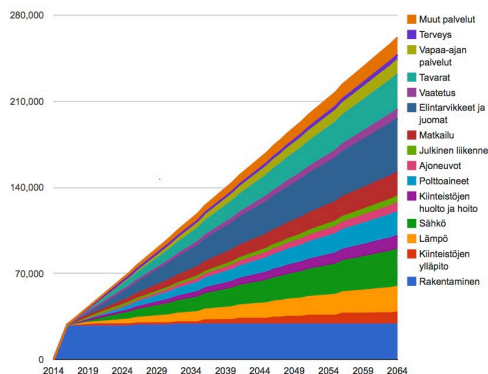


# TYÖKALUJA VÄHÄHIILISEEN ALUERAKENTAMISEEN

## MALTTI – matalahiilisen aluekehityksen tukityökalu

Eeva Säynäjoki, Jukka Heinonen, Antti  
Säynäjoki, Sanna Ala-Mantila, Laura  
Pääkkönen





# TYÖKALUJA VÄHÄHIILISEEN ALUERAKENTAMISEEN

MALTTI – matalahiilisen aluekehityksen  
tukityökalu

**Eeva Säynäjoki**  
**Jukka Heinonen**  
**Antti Säynäjoki**  
**Sanna Ala-Mantila**  
**Laura Pääkkönen**

Aalto-yliopiston julkaisusarja  
**TIEDE + TEKNOLOGIA** 7/2014

© authors

ISBN 978-952-60-5729-3 (pdf)  
ISSN-L 1799-487X  
ISSN 1799-487X (printed)  
ISSN 1799-4888 (pdf)  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-5729-3>

Unigrafia Oy  
Helsinki 2014

## Tausta

LOCO (Low Carbon Neighbourhood Construction) - Työkaluja vähähiiliseen aluerakentamiseen -hanke on toteutettu osana Kestävä asuminen ja ympäristö, K-EASY -hanketta, joka on Lahden Seudun Kehitys LADEC Oy:n koordinoima ja Euroopan aluekehitysrahaston rahoittama viiden maakunnan yhteishanke. K-EASY -hankkeen tavoitteena on ollut vuosien 2011-2014 aikana etsiä uusia ratkaisuja kiinteistöjen energiatehokkuuden, jätehuollon ja kierrätyksen sekä älykkään talotekniikan alueilla.

LOCO-osahankkeessa pyrittiin tuottamaan uusia hiilijohtamisen strategisen tason työkaluja tukemaan tulevaisuuden vähähiilistä aluekehitystä. Hankkeen työryhmään ovat kuuluneet koordinaattoritaho Culminatum Innovation Oy Ltd, Helsingin ja Vantaan kaupungit, Helsingin Seudun ympäristöpalvelut HSY sekä Aalto-yliopisto. Tutkimus- ja kehitystyöstä on vastannut alihankkijana Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun Maankäyttötieteiden laitos, jonka tutkijat tekivät läpi hankkeen tiiviistä yhteistyötä työryhmän asiantuntijoiden kanssa. LOCO-hankkeen tuloksena syntynyt MALTTI – matalahiilisen aluekehityksen tukityökalu perustuu vuosina 2009–2013 Aalto-yliopistossa tehtyyn tutkimukseen, jonka tuloksia on julkaistu lukuisissa korkeatasoisissa kansainvälisissä akateemisissa julkaisuissa. Tässä raportissa kuvataan MALTTIn toimintaperiaatteita ja sen avaamia uusia näkökulmia kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan, työkalun asemoitumista maankäytön suunnitteluprosesseihin sekä laskentaperiaatteiden suhdetta muita lähestymistapoja käyttäviin työkaluihin ja arviointimalleihin.

## Raportin sisältö:

<b>Tausta .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Johdanto.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Mitä matalahiilisyydellä tarkoitetaan? .....</b>	<b>5</b>
2.1 Hiilijalanjälki ja hiilitehokkuus .....	5
2.2 Tuotanto- ja kulutusperusteinen laskenta .....	5
<b>3 MALTTI-työkalun näkökulmat ja toimintaperiaatteet .....</b>	<b>8</b>
3.1 Elinkaarilaskentamenetelmä .....	8
3.2 Aikaperspektiivi ja laajuus.....	9
3.3 Energia .....	11
3.4 Rakentaminen .....	13
3.5 Yksityisautoilu .....	15
3.6 Muu kulutus .....	16
<b>4 MALTTI ja matalahiilisyyden avaintekijät: viisi askelta kohti kestävämpää kehitystä</b>	<b>18</b>
<b>5 MALTTIn näkökulmien asemointia .....</b>	<b>20</b>
5.1 Pisteytysmallit vs. laskentamallit.....	20
5.2 Elinkaarinäkökulman huomiointi.....	20
5.3 Tarkastelun tarkkuustaso .....	21
<b>6 MALTTI ja maankäytön suunnittelujärjestelmä .....</b>	<b>22</b>
6.1 Alueiden käytön ja rakentamisen ohjaus Suomessa .....	22
6.2 Valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden asettama haaste.....	22
6.3 MALTTI kaavoituksen näkökulmasta.....	23
<b>7 MALTTIa alueidenkäytön suunnitteluun .....</b>	<b>25</b>
7.1 Yhdyskuntarakenteen hajautumisen hallinta.....	25
7.2 Energiantuotanto ja jakelu.....	26
7.3 Liikennejärjestelmät.....	26
7.4 Rakentaminen .....	27
<b>8 Lähteet: .....</b>	<b>28</b>

## 1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen hillintä on noussut erityisesti läntisten hyvinvointitalouksien yhdeksi merkittävimmistä kestäväen kehityksen edistämisen tavoitteista. Kaupungit ja kaupungistumisen kestävä ohjaaminen ovat ratkaisevassa asemassa matalahiilisemmän tulevaisuuden mahdollistajina. Oikeanlaisella yhdyskuntarakenteen suunnittelulla voidaan tukea kestävää asumista ja liikkumista, ja jopa auttaa kaupunkien asukkaita tekemään vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavia kulutusvalintoja muussa yksityisessä kulutuksessaan. Yhdyskuntarakennetta suunniteltaessa lyödään myös pitkiksi ajoiksi lukkoon monia merkittävästi kasvihuonekaasupäästöjen syntyyn vaikuttavia tekijöitä, mikä tekee näistä päätöksistä usein ratkaisevia ilmastonmuutostavoitteiden näkökulmasta. Kaupunki tarjoaa asukkailleen erilaisia palveluita ja luo puitteet tuotantotoiminnalle ja kulutukselle, joiden seurauksena kasvihuonekaasut lopulta syntyvät.

Matalahiilisen aluekehityksen tukityökalu MALTTI on kehitetty Aalto-yliopiston Maankäyttötieteiden laitoksella Culminatum Oy:n koordinoimassa *LOCO – Työkaluja vähähiiliseen aluerakentamiseen* -tutkimushankkeessa vuosina 2011-2013, jota ovat rahoittaneet EU:n rakennerahasto, Helsingin kaupunki, Vantaan kaupunki sekä Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Lisäksi Innovatiivinen kaupunki -ohjelma on rahoittanut Aalto-yliopiston rinnakkaishanketta *Kaupunkilaisten hiilijalanjäljen hallinta kestäväen yhdyskuntarakenteen pohjana*, jonka puitteissa on tehty merkittävä osa tutkimuksesta työkalun taustalla. MALTTI-työkalun tehtävänä on antaa kokonaiskuva uuden asuinalueen rakentamisen ja käytön aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä ja päästöjen ajoittumisesta suhteessa asuinalueen elinkaareen, sekä mahdollistaa eri toteutusvaihtoehtojen vertailuja.

MALTTI on kehitetty täydentämään matalahiilisen kaupunkikehityksen tueksi tarjolla olevien työkalujen kirjoa. Sitä ei ole sovitettu toimimaan erityisesti yleis- tai asemakaavoituksen tukityökaluna tai tekemään aluekehityskohteiden tarkkaa ja yksityiskohtaista päästölaskentaa. Sen sijaan MALTTI tuo arviointityökalujen kenttään uusia näkökulmia huomioidessaan ensinnäkin kasvihuonekaasupäästöjen ajoittumisen ja toisekseen eri toimintoihin ja kulutushyödykkeisiin liittyvät koko elinkaaren päästöt riippumatta siitä, missä vaiheessa toimitusketjua tai missä päin maailmaa ne syntyvät. MALTTI auttaa näin luomaan kuvan siitä, mistä tarkasteltavan alueen kokonaishiilijalanjälki koostuu ja kuinka eri kehitystoimenpiteet vaikuttavat globaaliin päästökertymään, joka on ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta ainoa oleellinen

mittari. Näiden ominaisuuksien johdosta MALTTIa voidaan hyödyntää useissa eri kaupunkikehityksen vaiheissa ja eri toimijoiden apuvälineenä strategisesta suunnittelusta erilaisiin kaavoitusprosessien tilanteisiin.

Seuraavissa luvuissa MALTTIa kuvataan yksityiskohtaisemmin, ja työkalu asemoidaan tarkemmin toimintakenttäänsä. Raportissa näytetään, kuinka MALTTIn avulla voidaan arvioida, mitkä muutokset vähentävät tehokkaimmin lyhyen ja toisaalta pitkän aikavälin kasvihuonekaasupäästöjä. Raportissa esitetään myös MALTTIn laskentanäkökulman pohjalta tuotetut viisi matalahiilisen kaupunkikehityksen kriteeriä sekä vertaillaan MALTTIa erilaisiin muihin ekokriteeristöihin erojen ja yhdenmukaisuuksien havainnollistamiseksi. Lopuksi tarkastellaan MALTTIn asemoitumista tyypilliseen maankäytön ohjausprosessin kulkuun.



## 2 Mitä matalahiilisyydellä tarkoitetaan?

### 2.1 Hiilijalanjälki ja hiilitehokkuus

Yhdyskuntarakenteen ja ilmastonmuutosvaikutusten yhteyksiä voidaan tarkastella joko (a) *hiilijalanjälkenä*, jolloin kasvihuonekaasupäästöjä arvioidaan absoluuttisena suureena, tai (b) *hiilitehokkuutena*, jolloin päästöjä verrataan niiden kustannuksella tuotettuihin hyödykkeisiin, palveluihin ja elämän laatuun. Valinta näiden kahden vaihtoehdon välillä on sikäli merkittävä, että hiilitehokkuutta tarkasteltaessa yhdyskunnan kulutustarpeet ajatellaan usein vakioksi. Hiilitehokkuusajattelussa elämänlaatu saatetaan jopa rinnastaa kulutuksen määrään. Hiilijalanjälkeä voidaan puolestaan pienentää kulutusta vähentämällä ottamatta kantaa siihen, kuinka kulutuksen muutokset vaikuttavat ihmisten elämänlaatuun. Vastaavasti kulutuksen lisääntyminen kasvattaa hiilijalanjälkeä, mutta ei välttämättä vaikuta hiilitehokkuuteen, tai voi vaikuttaa yhtä hyvin myönteisesti kuin kielteisestikin.

Ilmastonmuutoksen näkökulmasta hiilijalanjälki on tärkeämpi mittari kuin hiilitehokkuus, koska maapallon kantokykyyn suhteutetut päästömäärät, eivät asukasmääriin tai päästöjen kustannuksella tuotettuihin hyödykkeisiin suhteutetut, ratkaisevat onnistumisemme ilmastonmuutoksen hillinnässä. Hiilijalanjäljen ja hiilitehokkuuden tarkastelut voivat kuitenkin myös tukea toisiaan siinä mielessä, että hiilitehokkuuden muutokset voidaan suhteuttaa hiilijalanjälkeen ja toisaalta hiilijalanjälkeä voidaan pienentää paitsi kulutusta vähentämällä myös hiilitehokkuutta parantamalla.

Rakennetun ympäristön kontekstissa hiilitehokkuus liitetään tavallisesti asumisen ja liikkumisen kasvihuonekaasupäästöihin siten, että ihmisten asumis- ja liikkumistarpeet pyritään täyttämään aiheuttaen mahdollisimman vähän päästöjä. Hiilijalanjälkeä tarkasteltaessa asuminen ja liikkuminen nähdään tyypillisesti osana suurempaa kulutuskokonaisuutta, jolloin voidaan arvioida myös esimerkiksi liikkumisen päästöissä tapahtunutta kasvihuonekaasupäästövähennystä suhteessa asukkaan tai alueen kokonaishiilijalanjälkeen.

### 2.2 Tuotanto- ja kulutusperusteinen laskenta

Kasvihuonekaasupäästöjä on perinteisesti laskettu tuotantoperusteisesti, eli huomioiden tietyn maantieteellisesti rajatun alueen sisällä syntyvät tuotannon ja liikkumisen päästöt. Hiilijalanjälki on tämän ajattelun pohjalta tarkoittanut päästöjä jaettuna alueen asukasluvulla. Vaikka useat tuoreemmat laskentaprotokollat ja -ohjeet

vaativatkin elinkaarinäkökulmaa, eli tuotantoketjuissa aiheutuvien päästöjen huomiointia riippumatta niiden maantieteellisestä sijainnista, kohdentuvat päästöt yhä valtaosin hiili-intensiivisen tuotantotoiminnan sijoittumisen mukaisesti. Tuotantoperusteinen laskenta toimii kuitenkin sitä heikemmin, mitä pienempiä aluekokonaisuuksia tarkastellaan. Jo maat, mutta vielä paljon voimakkaammin kaupungit ja yksittäiset aluekohteet kaupunkien sisällä ovat erikoistuneet tiettyyn tai tiettyihin tuotantomuotoihin tai jopa pelkästään kulutukseen. Tuotantoperusteinen laskenta antaa usein erittäin positiivisen kuvan kuluttamiseen ja palvelutuotantoon erikoistuneiden alueiden kasvihuonekaasupäästöistä.

Kaikki tuotanto kuitenkin lopulta liittyy kysyntään jossain, joten tehokas päästöjen vähentäminen vaatii myös tuotannon ja kulutuksen yhteyksien ymmärtämistä. Kun päästöjä lasketaan kulutuksen näkökulmasta, eli kohdentaen kaikkien kulutettujen hyödykkeiden tuotannosta aiheutuneet päästöt kuluttajalle, puhutaan kulutusperusteisesta laskennasta. Sen tavoitteena on antaa kokonaiskuva kulutuksen kautta aiheutetuista päästöistä riippumatta siitä, missä päästöt maantieteellisesti syntyvät. Kulutusperusteinen laskenta täydentää tehokkaasti tuotantoperusteisia laskentatapoja, kun etsitään keinoja leikata radikaalisti päästöjä globaalissa mittakaavassa. Kulutusperusteisessa laskennassa esimerkiksi tehtaan siirtyminen maasta toiseen tai kaupungin rajojen ulkopuolelle ei automaattisesti muuta päästöjä millään tavalla, kun taas tuotantoperusteisessa laskennassa tämä näkyisi mittauksen kohteena olevan alueen päästöjen alenemisen, vaikka todellisuudessa kyse on vain päästöjen siirtymisestä. Kasvihuonekaasujen suhteen tämä on sikälikin erittäin relevantti näkökulma, että ilmastonmuutos on aidosti globaali ilmiö, ja päästöjen maantieteellisellä sijoittumisella ei ole merkitystä.

Kulutusperusteisella laskennalla päästään erityisen tehokkaasti kiinni pienempien yhteisöjen aiheuttamiin päästöihin. Tiukasta tuotantoperusteisesta näkökulmasta katsottuna asuinalue ei usein aiheuta juuri mitään päästöjä. Ja vaikka asumisen energiankulutus ja asukkaiden lähiliikkumisen aiheuttamat päästöt huomioitaisiinkin, kuten usein tehdään, saadaan silti erittäin vajavainen kuva alueen asukkaiden aiheuttamasta ilmastonmuutosvaikutuksesta. Erityisesti kaupunkialueilla, joilla liikkumisen ja asumisen energiankulutuksen päästöt ovat usein laajempien alueiden keskiarvojen alapuolella, nämä kaksi kategoriata saattavat muodostaa vain alle puolet asukkaiden kulutuksellaan aiheuttamista päästöistä (esim. Heinonen ym. 2011).

Kulutusperusteisten laskentamenetelmien käyttöä tuotantoperusteisten rinnalla tukee myös nykyisen tilanteen haastavuus. Yhdyskuntien kestävä kehitys edellyttää kasvihuonekaasupäästöjen radikaalia vähentämistä nopeasti (esim. IPCC 2007).

Vähennystarve on niin suuri ja päästövähennystavoitteiden aikataulu niin tiukka, että pelkkä asumisen ja liikkumisen hiilitehokkuuden parantaminen ei riitä. Erityisen paradoksaalista on, että monet asumisen ja liikkumisen hiilitehokkuuden parantamiseen tähtäävät toimenpiteet saattavat myös aiheuttaa rakentamisvaiheessa niin merkittävän määrän päästöjä, ns. hiilipiikin, että uuden yhdyskuntarakenteen käytönaikaisen hiilitehokkuuden parantumisen hyödyt saavat aikaan vastaavan suuruiset päästösäästöt (kumoavat hiilipiikin) vasta vuosikymmenten kuluttua, jos silloinkaan (Säynäjoki ym. 2012).

### 3 MALTTI-työkalun näkökulmat ja toimintaperiaatteet

MALTTI-työkalu laskee tietyn alueen rakentamisen ja käytön aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä kulutuslähtöisesti ja elinkaariperusteisesti. MALTTI mallintaa absoluuttisia päästöjä eli hiilijalanjälkeä. Lasketut päästöt voidaan kuitenkin suhteuttaa tiettyyn suoritteeseen tai hyötyihin, jos MALTTia halutaan käyttää hiilitehokkuusarvioinneissa. MALTTI soveltuu parhaiten apuvälineeksi yhdyskuntasuunnittelun suurten linjavetojen suunnitteluun ja vertailuun strategisella tasolla. Työkalun avulla voidaan tunnistaa kaupunki- ja yhdyskuntasuunnittelun keskeisiä vaikutusmahdollisuuksia asuinalueiden rakentamisen ja käytön aiheuttamiin päästöihin ja pyrkiä ennakoimaan erilaisten aluekehityshankkeiden ja rakentamisratkaisujen ilmastovaikutuksia huomioiden päästöjen ajoittuminen ja liittyminen asukkaiden toimintaan.

#### 3.1 Elinkaarilaskentamenetelmä

Elinkaaripohjainen ajattelu on vakiintunut yleisesti hyväksytyksi tavaksi arvioida valitun kohteen tai toiminnon aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Elinkaaren huomioinnilla tarkoitetaan sitä, että tarkasteltavan kohteen välilliset ympäristövaikutukset raaka-aineiden hankinnasta aina jakeluun ja loppusijoitukseen saakka huomioidaan suorien vaikutusten lisäksi. Näin saadaan selville kohteen aiheuttamat todelliset ympäristövaikutukset, eikä sorruta tarkastelemaan ainoastaan tuotantovaihetta, jolloin esim. palveluiden aiheuttamaa ympäristökuormaa saatetaan aliarvioida vahvastikin.

MALTTI hyödyntää panos-tuotos-pohjaista elinkaariarviointia (input-output life cycle assessment, IO LCA), sekä tärkeimpien päästölähteiden osalta alueelliset erityistekijät sekä rakentamisen erityispiirteet huomioivaa hybridi-elinkaariarviointia (hybridi-LCA). Alueiden rakentamisen laskentamallin pohjana on kustannusperusteinen panos-tuotos-malli, jonka pohjalta kehitetyssä hybridimallissa tärkeimpien rakennusmateriaalien sekä rakentamisessa käytetyn energian päästöt on laskettu hyödyntämällä materiaalivalmistajien sekä energiantuotannon ajantasaisia paikallisia päästöprofileita. Alueiden käytön sekä kuluttajien hiilijalanjälkien laskennassa käytetään panos-tuotos-pohjaisesta laskennasta kehitettyä hybridimallia, jossa hyödynnetään paikallisia energiantuotannon päästöprofileja energiankulutuksen aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen tarkkaan mallintamiseen. Tavoitteena käytön ja kulutuksen osalta on antaa karkea kuva siitä, miten erilaiset kotitaloudet kuluttavat erilaisia hyödykkeitä ja miten kulutus näkyy aiheutettuina kasvihuonekaasupäästöinä. MALTTIn

pohjana käytettyjen hybridimallien tarkemmat kuvaukset esitellään artikkeleissa Heinonen ym. (2013a), Ala-Mantila ym. (2013), Säynäjoki ym. (2011) ja Ristimäki ym. (2013).

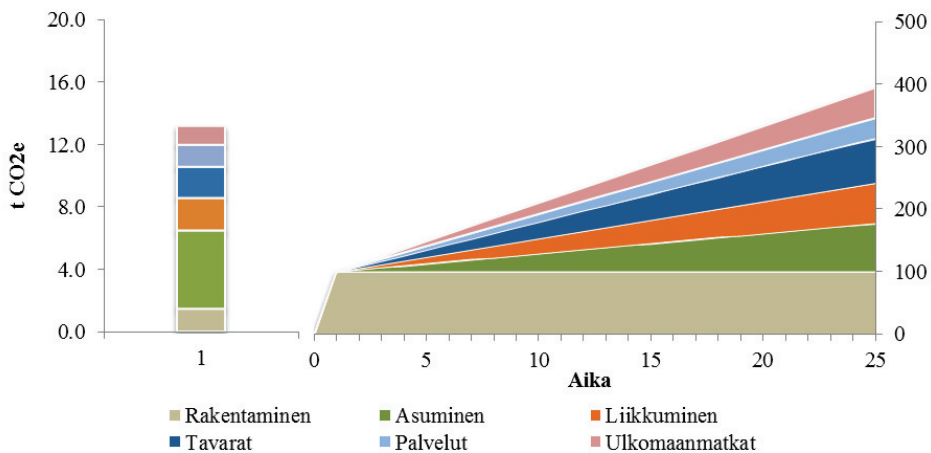
### 3.2 Aikaperspektiivi ja laajuus

MALTTIn tarkastelujen lähtökohtana on, että asuinalueen hiilijalanjälkeä arvioidaan tietyn aikavälin kumulatiivisena päästökertymänä huomioiden aiheutettujen päästöjen todellinen ajoittuminen. Tällöin nähdään päästövähennystavoitteiden toteutumismahdollisuudet valitulla aikavälillä ja toisaalta rakentamisen- ja käytönaikaiset päästöt suhteessa toisiinsa. Päästöjen kuvaaminen todellisen kumulatiivisen kertymän mukaisesti ajassa mahdollistaa myös teknologisen kehityksen vaikutusten huomioinnin, mikä on tärkeä näkökulma erityisesti erittäin hitaasti muuttuvan yhdyskuntarakenteen kehittämisen vaikutusmahdollisuuksia pohdittaessa.

Useimmissa markkinoilla olevissa työkaluissa ei eritellä mitenkään päästöjen syntyhetkiä vaan oletetaan nyt ja tulevaisuudessa syntyvien päästöjen olevan samanarvoisia keskenään. Näin ei kuitenkaan välttämättä ole erityisesti pitkien elinkaarten hyödykkeiden, kuten rakennusten suhteen. 50 tai 100 vuoden kuluttua syntyvillä päästöillä voi olla täysin eri merkitys kuin lähitulevaisuuden päästöillä, koska ilmastonmuutos syntyy ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuden kohoamisesta liian korkeaksi. Lisäksi pitkällä tulevaisuudessa syntyviin päästöihin liittyy oleellisesti enemmän epävarmuutta kuin lähitulevaisuuden päästöihin. Pitkällä aikavälillä mahdollisesti syntyvien päästöjen summaaminen nykypäivään ei myöskään mahdollista aiheutettujen ja vältettyjen päästöjen suhteuttamista nykyisiin suhteellisen lyhyelle aikavälille asetettuihin päästövähennystavoitteisiin.

MALTTIn tarkastelujen kaksi pääosa-aluetta ovat luonteiltaan hyvin erityyppiset *rakentamisvaiheen päästöt* ja *käytönaikaiset päästöt*. Rakentamisvaiheen kokonaispäästöt syntyvät suhteellisen lyhyessä ajassa tietyn kehitysprojektin käynnistymisen jälkeen ja ovat sekä helpommin ennustettavissa että tärkeitä lyhyellä aikavälillä, johon nykyiset päästövähennystavoitteet keskittyvät. Vastaavasti käytönaikaiset päästöt kertyvät kumulatiivisesti ja ovat usein vuositasolla pieniä suhteessa rakentamisvaiheen päästöihin. Esimerkiksi matalahiiliratkaisujen päästöjen takaisinmaksuaika riippuu nimenomaan kahden osa-alueen muodostamasta kokonaisuudesta: kuinka suuri on uudisrakentamisen hiilipiikki, eli rakentamisvaiheen päästökertymä sisältäen rakennusmateriaalien aiheuttamat päästöt, ja kuinka pieniä ovat käyttövaiheen päästöt verrattuna toisenlaiseen suunnitteluratkaisuun.

Kuvio 1 esittää kumulatiivisen päästökertymän periaatteen ja antaa esimerkin aikaperspektiivin huomioinnin merkityksestä. Vasemmanpuoleinen pystypalkki kuvaa hypoteettista kaupungin keskimääräisen asukkaan vuotuista hiilijalanjälkeä. Jalanjälkeä dominoi asuminen, jota taas hallitsevat energiankulutuksesta aiheutuvat päästöt. Rakentamisen osuus on melko pieni ja päästörakenne kokonaisuudessaan näyttäisi ohjaavan keskittymään rakennusten käyttövaiheeseen liittyvien päästöjen vähentämiseen. Oikeanpuoleisessa kuviossa esitetään saman hypoteettisen asukkaan päästöt kumulatiivisena kertymänä, kun hän muuttaa vuoden 2012 energiatehokkuusnormin täyttävään uudiskohteeseen. Kuviosta nähdään havainnollisesti, että vaikka rakentamisen päästöt kaupungin keskimääräisen asukkaan hiilijalanjäljessä eivät nouse kovin näkyvään rooliin, ovat ne ylivoimaisesti suurin yksittäinen päästökategoria vielä pitkän ajan kuluttua kumulatiivisessa päästökertymässä, kun uudiskohteen rakentamisen päästöt allokoidaan sinne muuttaville asukkaille. Tällöin rakentamisen päästöt nousevat helposti jopa niin keskeiseen asemaan, että uudiskohteen korkeakaan energiatehokkuus ei johda sinne muuttavien asukkaiden kasvihuonekaasupäästöjen vähenemiseen kuin vasta hyvin pitkällä aikavälillä. Kumulatiivisten päästöjen tarkastelu siis ohjaa kiinnittämään huomiota rakentamisesta aiheutuviin päästöihin aivan eri tavalla kuin keskimääräisten hiilijalanjälkien tarkastelu.



Kuvio 1 Periaatekuva aikaperspektiivin vaikutuksesta päästöjen tulkintaan, kun vertaillaan jonkin laajemman alueen keskimääräisen asukkaan vuotuista hiilijalanjälkeä uudiskohteeseen muuttavan asukkaan aiheuttamaan kumulatiiviseen päästökertymään.

Kuvion 1 esimerkin pohjalta voidaan erottaa kolme tekijää, joiden vuoksi elinkaaritarkasteluissa on tärkeää erottaa aikaisen vaiheen päästöt pitkällä tulevaisuudessa syntyvistä:

1. Ilmastonmuutoksen haittavaikutusten vuoksi päästövähennyksillä on kiire, ja monien uudisrakentamisen ratkaisujen hiilipiikkien takaisinmaksuajat ovat liian pitkiä suhteessa asetettuihin ilmastotavoitteisiin.
2. Nykyisellä teknologialla ja nykyisillä energiantuotantotavoilla kulutus- ja tuotantotapamme ovat varsin hiili-intensiivisiä. Nyt aiheutetut hiilipiikit saattavat olla merkittävästi suurempi ongelma kuin tulevaisuuden energiankulutus, josta aiheutuvat päästöt voivat olla huomattavasti nykyistä pienempiä johtuen esimerkiksi kehittyneemmistä energiantuotanto- tai hiilen talteenottoteknologioista. Takaisinmaksuajat ja tulevaisuuteen sijoitetut hyödyt eivät näin välttämättä realisoidu, mutta jo aiheutetut päästöt pysyvät ilmakehässä pitkiä aikoja.
3. Rakennuskannan ja infrastruktuurin uudistaminen uutta rakentamalla ja vanhaa purkamalla tai käyttämättä jättämällä koko Suomen mittakaavassa on ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta harvoin hyvä ratkaisu.

Työkalun tuottamat tulokset ja niiden pohjalta tehtävät johtopäätökset seuraavat väistämättä laskennan kehittämisessä tehtyjä valintoja. Perinteinen ja edelleenkin yleisimmin käytetty kasvihuonekaasupäästöjen mallintamistapa on rajata huomioitavat päästöt maantieteellisesti laskennan kohteena olevaan alueeseen. Tämä näkökulma on johtanut siihen, että tiiviimmät kaupunkialueet vaikuttavat aiheuttavan vähemmän päästöjä kuin väljemmät reuna- ja maaseutumaisemmat alueet johtuen erityisesti asuineliöiden ja autoilun määrän kasvusta kohti väljempiä alueita. Lukuisat tuoreet tutkimustulokset viittaavat kuitenkin siihen, että kaupunkimaisilla alueilla muun muassa korkeampi tulotaso ja monipuoliset kulutusmahdollisuudet saattavat helposti johtaa tilanteeseen, jossa yksityisautoilun ja asumisen päästövähennykset eivät riitä edes tasaamaan päästöjen kasvua muun kulutuksen lisääntymisestä. MALTTI kuitenkin huomioi laskelmissa alueen asukkaiden kulutuksen kokonaisuudessaan ja suhteuttaa suunniteltujen toimenpiteiden hyödyt kokonaishiilijalanjälkeen.

### 3.3 Energia

Valtaosa kaikista kasvihuonekaasupäästöistä liittyy lopulta energiantuotannon päästöihin. Myös MALTTI-työkalussa energia on keskeisessä asemassa. Yksittäisen alueen tasolla asumisen päästöihin voidaan vaikuttaa joko rakennusten energiatehokkuuden kautta tai energian tuotantomuodon kautta. Näiden kahden

vaihtoehtojen vaikutusmekanismit ovat hiukan erilaiset. Rakennusten käytönaikainen energiatehokkuus kiinnitetään suhteellisen pitkäksi aikaa rakentamisvaiheessa, kun taas energiantuotanto, ainakin laajemmassa mittakaavassa, muuttuu pitkällä aikavälillä. MALTTI-tarkasteluihin on sisällytetty tämän kehityskulun huomioimiseksi kolme käyttäjälle vaihtoehtoista tulevaisuuden päästömääriin vaikuttavaa *energiaskenaariota*:

**1. Pessimistinen skenaario**

*Päästöt eivät muutu pitkälläkään aikajänteellä. Voidaan ajatella, että tietyn alueen tasolla energiantuotanto ja sen päästöt voivat olla suhteellisen kiinteitä ainakin keskipitkällä aikavälillä, mikäli tehdään paikallinen energiantuotantoratkaisu tai paikalliseen verkkoon ei ole odotettavissa merkittäviä muutosinvestointeja lähitulevaisuudessa.*

**2. Maltillinen skenaario**

*Päästöt laskevat vuosittain noin 1 % vauhdilla. Verkossa kulkevan energian hiili-intensiteetti alenee vähitellen, kun verkkoon liittyy uusia vähähiilisiä tuotantolaitoksia, tai kun paikallisen tuotantolaitoksen polttoainejakauma muuttuu vähitellen vähäpäästöisemmäksi.*

**3. Optimistinen skenaario**

*Päästöt laskevat vuosittain noin 5 % vauhdilla. Kuten skenaario 2, mutta optimistisemmalla oletuksella päästöjen alenemisesta.*

Skenaariovalinta vaikuttaa omalta osaltaan aikaperspektiivin merkitykseen. Mitä optimistisemmaksi energian hiili-intensiteetin aleneminen oletetaan, sitä korkeammaksi nousee lähitulevaisuuden päästöjen merkitys suhteessa pitkällä tulevaisuudessa syntyviin päästöihin.

Suomessa erään tärkeän erityispiirteen energiantuotannon päästöjen laskentaan aiheuttaa sähkön ja lämmön suhteellisen laajamittainen yhteistuotanto. Sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannossa prosessin päästöt voidaan jakaa eli *jyvittää* sähkölle ja kaukolämmölle usean vaihtoehtoisen periaatteen mukaisesti. MALTTI-työkalussa jyvittämisen oletuksena on Suomessa paljon käytetty hyödynjakomenetelmä, jossa kaukolämmön ajatellaan olevan sähköntuotannon suhteellisen vähäpäästöinen sivutuote. Vaihtoehtoina on laskentamenetelmiä, jotka pitävät lämpöä kokonaan päästöttömänä tai vastaavasti menetelmiä, joissa lämpö otetaan päätuotteena, jolle ohjataan pääosa tai jopa koko päästökuorma. Näillä valinnoilla on erittäin suuri merkitys laskentatuloksiin.

Allokaatiokysymyksestä tekee erityisen tärkeän se, että Suomessa käytetään suurelta osin fossiilisia polttoaineita sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Siksi hyödynjakomenetelmä on valittu ensisijaiseksi laskentatavaksi MALTTI:ssa. Laskurin



käyttäjä voi kuitenkin halutessaan muuttaa oletusta yhteistuotannon päästöjen jyvittämisperiaatteesta ja määrittää erikseen kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön, kuten kaikkien muidenkin valittavissa olevien sähkön- ja lämmöntuotantotapojen, hiili-intensiteetit. Näin on mahdollista tarkastella kriittisesti laskennan taustaoletusten vaikutuksia ja määrittää raja-arvot, joilla päätöskriteerit muuttuisivat eri toteutusvaihtoehtojen välillä tietyssä kehityskohteessa.

Pelkän sähkönkulutuksen osalta ei ole yksiselitteistä sanoa, mitä tuotannon polttoaineet ovat ja miten päästöt tulisi laskea. MALTTIssa käyttäjällä on tarjolla sekä suomalainen verkkokeskiarvosähkö että pohjoismainen verkkokeskiarvo, mutta myös paikallisen yhteistuotantolaitoksen sähkö hyödynjakoperiaatteen mukaisilla päästöillä, sekä huonoimman tuotantomuodon ns. marginaalisähkö. Näistä keskiarvotuotantojen päästöt ovat suhteellisen alhaisia, ja antavat sähkönkulutuksen merkityksestä monella tapaa ongelmallisen positiivisen kuvan. Marginaalituotanto taas antaa sähkölle suurimman mahdollisen päästömäärän ja kuvaa siten hyvin lyhyen aikavälin vaikutuksia tilanteessa, jossa sähkönkulutus aidosti kasvaa, eikä vain siirry pisteestä toiseen. Paikallisen yhteistuotannon sähköä harvoin allokoidaan alueen asukkaille, mutta erityisesti yhteistuotantovoimalaitoksen lämpöverkon alueella uuden kaukolämpöön liittyvän asuinalueen lämmönkysyntä johtaa myös sähköntuotannon kasvuun, jolloin kulutusperusteisesti voidaan pitää järkevänä sähköntuotannon päästöjen allokoimista samoille kuluttajille.

Koska vähäpäästöiset sähkön- ja lämmöntuotannon muodot noussevat tulevaisuudessa yhä keskeisempään rooliin, MALTTI tarjoaa laskentaan yhteistuotannon lisäksi aurinko- ja tuulivoimavaihtoehtoja. Käyttäjä voi myös valita Suomen tai Pohjoismaiden sähköverkon, jonka keskimääräistä hiili-intensiteettiä laskelmissa käytetään verkkosähkön osalta.

### 3.4 Rakentaminen

MALTTIssa rakentamisen päästöjä tarkastellaan aina suhteessa käyttövaiheen päästöihin. Koska rakentamisvaiheessa aiheutetaan suhteellisen lyhyessä ajassa melko paljon päästöjä, kun taas käyttövaiheessa päästöt kumuloituvat hitaasti pitkän ajan kuluessa, voidaan puhua rakentamisen hiilipiikistä. Esimerkiksi EU:n 20-20-20 -tavoitteen aikaperspektiivillä, eli vuoteen 2020 mennessä, rakentamisvaiheessa aiheutetut päästöt dominoivat uudiskohteiden päästöjä, kuten Kuva 1 havainnollistaa. Rakentamisvaiheen päästöt ovat itse asiassa niin korkeat suhteessa hyvin lyhyen aikavälin käyttövaiheen päästöihin, ettei korkeallakaan rakennusten energiatehokkuudella ole riittävän positiivista vaikutusta kokonaispäästöihin.

Verrattuna merkittävästi huonommankin energiatehokkuuden omaaviin olemassa oleviin rakennuksiin, uudiskohteen kokonaispäästöt jäävät väistämättä korkeammiksi. Jos uudisrakentamisella pyritään saavuttamaan hyötyjä lyhyellä aikavälillä, rakentamisen hiilipiikin minimoiminen on tästä johtuen keskeistä. Rakentamisvaiheen päästöt puolestaan liittyvät valtaosin rakennusmateriaalien tuotantoon ja kuljettamiseen, joten vain riittävän kattavalla elinkaarinäkökulmalla saadaan käyttökelpoisia laskentatuloksia.

MALTTI:ssa huomioidun elinkaaren kattavuus on varmistettu käyttämällä panos-tuotos-pohjaista hybridilaskentamenetelmää (esim. Säynäjoki ym. 2011). Käyttöliittymä on kuitenkin pelkistetty neljään perustalotyyppiin, joista käyttäjä voi valita tarkasteltavaa kohdetta parhaiten kuvaavan yhdistelmän. Vaihtoehtoina ovat melko suuripäästöistä rakentamista edustava tiiliverhoiltu pientalo, vastaavamateriaalinen rivitalo, jossa ulkoseinien suhteellinen väheneminen tuo päästöhyötyä, betonielementtikerrostalo, jonka päästöt asemoituvat skaalan keskivaiheille, sekä puukerrostalo ja matalahiilibetonikerrostalo, joista puutalolla on kaikkein alhaisimmat neliöpäästöt. Kaikkien vaihtoehtojen rakentamisen päästöihin vaikuttaa myös valittu energiatehokkuustaso siten, että korkeampi energiatehokkuus nostaa päästöjä hienokseltaan lisääntyneen materiaalmäärän kautta. Käyttäjä voi lisäksi tarkastella päästöjen tärkeimpiä aiheuttajia materiaaleittain.

MALTTI:n mukaan rakentamisen hiilipiikin vähentämiselle voidaan asettaa kolme keskeistä kriteeriä:

1. korkea tiiveys
2. vähähiilisten rakennusmateriaalien valinta
3. hiili-intensiivisten materiaalien käytön optimointi

Asuinalueen rakentamisvaiheen päästöt ovat vahvasti verrannollisia rakennettaviin asuinalueisiin sekä rakennetun ympäristön käyttöön otettavaan maa-alaan. Lisäksi materiaalivalinnoillakin on oleellinen vaikutus. Puu rakennusmateriaalina pienentää hiilipiikkiä noin neljänneksen tai jopa puolet tavalliseen betonirakentamiseen verrattuna suhteellisen tuoreiden arvioiden mukaan. Muita matalahiiliratkaisuja rakentamisvaiheessa ovat mm. materiaalitarpeen vähentäminen suunnitteluvaiheen optimoinnilla ja ”matalahiilibetonit”, joita kuitenkin on kustannussyistä vielä suhteellisen vähän käytössä.

Eri materiaalien aiheuttamien päästöjen laskentaan liittyy vielä toistaiseksi merkittäviä standardipuutteita ja siksi arviot eri materiaalien vaikutuksista vaihtelevat tutkimusten välillä merkittävästi. Puulle saadaan hyvin erilaiset päästöt riippuen siitä, mitä oletuksia tehdään hiilivarannon säilymisen, maankäytön muutosten ja materiaalien

loppusijoittamisen suhteen. Toisaalta betonin karbonisoituminen saattaa tehdä betonistakin pienimuotoisen hiilinielun otollisissa olosuhteissa ja sopivalla aikaperspektiivillä tarkasteltuna. Lisäksi rakennusten käytönaikaisen energiatehokkuuden parantaminen saattaa nostaa rakentamisvaiheen päästöjä materiaalienekin lisääntymisestä johtuen.

### 3.5 Yksityisautoilu

Yksityisautoilu on merkittävä päästölähde, johon aluerakenne vaikuttaa oleellisesti, ja johon myös pyritään aktiivisesti puuttumaan erityisesti kaupunkien tiivistämisen ja joukkoliikennematkaisu-kehittämisen kautta. Yksityisautoilun merkitys ilmastonmuutoksen kannalta tulee kuitenkin vähenemään tulevaisuudessa teknologisen kehityksen seurauksena, mikä pitäisi pystyä huomioimaan matalahiilisempiä alueita kehitettäessä, koska yhdyskuntarakenteen muutokset ovat usein erittäin hitaita suhteessa teknologian kehityksen nopeuteen.

Ajoneuvoteknologian kehittymisen ja uusien polttoaineiden myötä yksityisautoilun määrän pitäisi kasvaa merkittävästi, jotta sen painoarvo pysyisi ennallaan kasvihuonekaasupäästöjä tarkasteltaessa. Tämä kehitys vaikuttaa oleellisesti siihen, millaisilla ratkaisilla liikkumisen päästöjä voidaan vähentää tehokkaimmin. Autoiluun liittyy lisäksi suhteellisen paljon ajetuista kilometreistä riippumattomia päästöjä, joten matkasuoritteiden lyheneminen vaikuttaa vain suhteellisen rajallisesti päästökertymiin.

Autoilun väheneminen kuitenkin pienentäisi tietyn asuinalueen asukkaiden hiilijalanjälkiä, ja sitä kohti voidaan ohjata autottomuuteen kannustavilla suunnitteluratkaisuilla. Lisäksi autottomuuteen voidaan vaikuttaa vielä asuinalueen käyttövaiheessakin, jos autoista luopumiselle luodaan sopivat edellytykset. Mikäli paremmat joukkoliikennenyhteydet, palvelujen läheisyys ja kevyen liikenteen tukeminen eivät kuitenkaan johda autoista luopumiseen, autoilla liikkumista ei välttämättä voida vähentää kovinkaan merkittävästi. Tyypillisesti, kun auto omistetaan, sitä myös käytetään. Mökkien omistus ja monet harrastukset ovat esimerkkejä lähialueen ominaisuuksista riippumattomista tekijöistä, jotka johtavat yksityisautojen omistukseen ja käyttöön.

Autoilun vähenemiseen liittyy myös erilaisissa laskelmissa hankalasti huomioon otettavissa oleva vaihtoehtokustannusvaikutus. Auton omistaminen ja autoilu on merkittävä kuluerä, joka varsin hyvätulaisia kotitalouksia lukuun ottamatta vaikuttaa väistämättä muihin kulutusvalintoihin. Toisinpäin ajateltuna autoilun vähentäminen tai autosta luopuminen kokonaan nostaa suurella todennäköisyydellä muuta kulutusta ja siten päästövähennysvaikutus heikkenee (ks. esim. Heinonen ym. 2013b).

Myös perhekoon kasvu on tiiviisti sidoksissa ajoneuvojen määrään. Perhekoon kasvusta seuraava auton omistamisen tarve saattaa myös kannustaa asumiseen keskusalueiden ulkopuolella, missä ajoneuvojen pitäminen on helpompaa ja asumisen kustannukset alhaisempia. Seurauksena käyttövaroja vapautuu autoiluun.

MALTTI-työkalussa on käytössä energiantuotannon skenaarioita vastaavat kolme polttoaineskenaariota:

**1. Pessimistinen skenaario**

*Päästöt eivät muutu pitkälläkään aikajänteellä. Autoilun suhteen epätodennäköisin skenaario paitsi kenties lyhyellä aikavälillä.*

**2. Maltillinen skenaario**

*Matkasuoritekohtaiset päästöt laskevat vuosittain runsaan 2 % vauhdilla moottori- ja polttoaineteknologioiden kehittyessä.*

**3. Optimistinen skenaario**

*Päästöt laskevat vuosittain runsaan 3 % vauhdilla moottori- ja polttoaineteknologioiden kehittyessä.*

Lisäksi vaihtoehtona on autottomuus, jonka käyttäjä voi valita joko osalle asukkaista tai halutessaan kaikille. Autottomuuden tapauksessa laskentamalli huomioi myös ajoneuvojen valmistuksesta syntyvien päästöjen vähenemisen, ja vastaavasti osan kulutuspotentiaalista allokoitumisen muihin kulutuskohteisiin.

### 3.6 Muu kulutus

Asumisen ja liikkumisen osuus kaupunkilaisen kokonaishiilijalanjäljestä on keskimäärin vain noin puolet, ja alueesta ja asukastyypistä riippuen vaihtelu voi olla suurtakin. Asumisen ja liikkumisen perusteella lasketut hiilijalanjäljet ovat siis melko vajavaisia ja sisältävät indikaattoreina päästöjen muutoksista oleellisen virhepotentiaalin. Toinen puoli hiilijalanjäljestä aiheutuu kaikesta muusta kulutuksesta, eli erilaisten tavaroiden ja palveluiden kysynnästä. Tämän muun kulutuksen päästöt syntyvät valtaosin tarkasteltavan alueen ulkopuolella, ja siksi ne jätetään usein pois tarkasteluista. Asuinalueiden suunnittelulla voidaan kuitenkin jossain määrin vaikuttaa kaiken kulutuksen päästöihin, ja kokonaisuuden hahmottaminen on joka tapauksessa tärkeää mahdollisten päästövähennysten suhteuttamiseksi. Esimerkiksi palveluiden tuottaminen matalahiilisen energiantuotannon vaikutusalueella vähentää kulutuksen hiili-intensiteettiä. Palveluiden läheisyys ja tarjolla olevat joukkoliikenneyhteydet puolestaan vaikuttavat liikkumisen päästöihin. Vastaavasti lentokentän läheisyys ja asukkaiden varallisuus vaikuttavat merkittävästi lentämisestä aiheutuviin päästöihin. Lisäksi lentäminen voi tilanteesta riippuen olla joko substituutti tai komplementti

yksityisautoilulle, ja vaihtelut lentokäyttäytymisessä voivat oleellisesti tasata eri liikkumismuodoista kokonaisuudessaan aiheutuvia päästöjä eri alueiden asukkaiden välillä (Heinonen ym. 2013a).

Vaikka suuri osa kulutuksen päästöistä riippuu keskeisemmin muusta kuin yhdyskuntarakenteesta, maankäytön suunnittelun tärkeimpänä tavoitteena voidaan ympäristön kannalta nähdä kestävämpien elämäntapojen tukeminen ja niille otollisten olosuhteiden luominen. MALTTI tukee tästä näkökulmasta kokonaisvaltaista matalahiilisyiden edistämistä näyttämällä arvion kaikista käyttäjien kulutuksellaan aiheuttamista päästöistä perinteisemmin tarkasteltujen rakentamisen, asumisen energiankulutuksen ja yksityisautoilun aiheuttamien päästöjen rinnalla.

## **4 MALTTI ja matalahiilisuuden avaintekijät: viisi askelta kohti kestävämpää kehitystä**

MALTTI-työkalun ja sen taustalla olevan laajamittaisen akateemisen tutkimuksen pohjalta on laadittu viiden kohdan kriteeristö, joka tiivistää yhteen merkittävimmät matalahiilisen kaupunkikehityksen näkökulmat. Kriteeristö etenee suuremmista vaikutuskeinoista kohti epäsuorempia ja enemmän asukkaiden valintoihin liittyviä näkökulmia.

### **1. Korkea energiatehokkuus, matalahiiliset materiaalit**

Rakennusten korkea energiatehokkuus tai hyvin matalahiilinen energiantuotanto on välttämätön edellytys alueellisen hiilitehokkuuden merkittäväälle parantamiselle. Rakentamisen hiilipiikki saattaa kuitenkin siirtää hyödyt pitkälle tulevaisuuteen, mikäli rakentamisvaiheen materiaalivalintoihin ei kiinnitetä huomiota. Minkään tietyn hetken päästöt eivät ratkaise, vaan kumulatiivinen kertymä, ja siksi päästöjen ajoittumiseen ja tämän seurauksena erityisesti rakentamisvaiheen päästöihin on syytä kiinnittää huomiota käyttövaiheen ohella. Yhdistelmänä matalahiiliset materiaalit ja tietyn alueen rakennusten korkea energiatehokkuus tarjoavat mahdollisuuden alentaa merkittävästi alueen aiheuttamaa hiilikuormaa.

### **2. Matalahiilinen energiantuotanto**

Vain fossiilisilla polttoaineilla tuotetusta energiasta luopuminen voi parantaa hiilitehokkuutta merkittävästi lyhyellä aikavälillä. Rakennusten korkealla energiatehokkuudella päästään periaatteessa samaan, mutta vain asumisen energiankulutuksen osalta. Lisäksi energiantuotannon ratkaisulla on merkittävästi laajempi lyhyen aikavälin vaikutuspotentiaali. Kaukolämpöverkon alueilla tuotannon polttoaineisiin pitäisi kiinnittää lähitulevaisuudessa paljon huomiota, koska yhteistuotanto on kestävä ratkaisu vain irrotettuna fossiilisista polttoaineista. Toisaalta verkko tarjoaa suuren potentiaalin, koska polttoaineiden muuttuessa kaikkien verkon piirissä olevien kulutuspisteiden kulutuksesta aiheutuvat päästöt muuttuvat. Haja-asutusalueilla uusiutuviin energialähteisiin tukeutuvan hajautetun tuotannon avulla voidaan saavuttaa suhteellisen korkea hiilitehokkuus huolimatta kasvavista asuinpinta-aloista ja voimakkaammasta autoriippuvuudesta. Sähköautojen yleistyessä tästä yhteydestä tulee entistä voimakkaampi.

### 3. Rakennusten pitkä elinkaari

Rakentamisesta syntyy aina nykyteknologialla hiilipiikki, joten rakentamisen tarpeen siirtäminen rakennusten ikää kasvattamalla on askel kohti matalahiilisempää tulevaisuutta. Olemassa oleva rakennuskanta pitäisi nähdä ”hiilivarantona”, jonka hyödyntäminen mahdollisimman pitkään vähentää tarvetta aiheuttaa uusia päästöjä. Tulevaisuuteen siirtyvä rakentaminen johtaa todennäköisesti automaattisesti pienempiin hiilipiikkeihin, kun energiantuotanto puhdistuu globaalisti ja rakennusmateriaalien tuotannon aiheuttamat päästöt alenevat. Ajan myötä on myös todennäköistä, että uudet vähähiilisemmät materiaalit korvaavat nykyisiä.

### 4. Korkea tilatehokkuus, houkutteleva matalahiilisyyys

Asuinneliöiden ja asumista tukevien tilojen määrä vaikuttaa suoraan sekä rakentamisen hiilipiikkiin että käyttöenergian tarpeeseen. Mittarina per asukas on huomattavasti tehokkaampi kuin per neliö kertomaan hiilitehokkuudesta. Jälkimmäinen saattaa jopa kannustaa tilatehokkuuden heikentämiseen, jolloin syntyy illuusio käytönaikaisesta hiilitehokkuudesta. Kerrostaloissa on tärkeää huomioida yhteiset tilat osana kunkin asukkaan tilankäyttöä, eikä keskittyä ainoastaan asuinneliöihin. Jos matalahiilisyyys nähdään investointina, voi matalahiilinen asuminen samalla korvata muuta kulutusta ja vähentää päästöjä. Toisin sanoen jos energiatehokkaaseen tai uusiutuvia energiamuotoja käyttävään asuntoon investoidaan merkittävä osa käytettävissä olevista tuloista, vähenee samalla muun kulutuksen kautta aiheutettu päästömäärä.

### 5. Matalahiilinen päivittäiskulutus

Matalahiilistä päivittäiskulutusta on mahdollista tukea mm. edistämällä autottomuutta ja edistämällä lähipalveluiden syntyä erityisesti alueilla, joilla tukeudutaan matalahiilisiin energiantuotantomuotoihin. Autoja käytetään keskimäärin melko paljon, kun niitä omistetaan; vasta autottomuus vähentää merkittävästi autoilusta aiheutuvia päästöjä.

## 5 MALTTIn näkökulmien asemointia

### 5.1 Pisteytysmallit vs. laskentamallit

Erilaiset ympäristövaikutusten ja ekotehokkuuden arviointimallit ja -työkalut voidaan jakaa karkeasti kahteen kategoriaan: pisteytysmallit ja laskentamallit. Pisteyttäminen on maailmalla yleinen lähestymistapa (mm. LEED ja BREEAM), kun taas MALTTI on puhdas laskentatyökalu. Pisteyttämisessä annetaan usein pisteitä oikeaan suuntaan ohjaavista suunnitteluvalinnoista, vaikkei niiden seurauksia voitaisikaan arvioida tarkasti. MALTTI-työkalun tyyppiset laskurit puolestaan sisältävät vain niitä asioita, joita voidaan riittävän uskottavasti laskea suunnitteluvalintojen pohjalta. Hyviä esimerkkejä ovat mm. pisteet kevyttä liikennettä tai vähäpäästöisiä ajoneuvoja edistävästä toimenpiteistä. Näiden sinänsä hyvien ja oikeaan suuntaan ohjaavien toimenpiteiden konkreettisia päästövaikutuksia on käytännössä mahdotonta arvioida etukäteen.

### 5.2 Elinkaarinäkökulman huomiointi

MALTTI eroaa useimmista muista laskentamalleista ja arviointikriteereistä oleellisesti elinkaarinäkökulman osalta. Monet laskenta- ja arviointimallit ottavat huomioon ainoastaan suorat päästöt tai nämä lisättynä energiankulutuksesta aiheutuvilla päästöillä. MALTTI puolestaan huomioi kaikki tuotanto- ja toimitusketjun päästöt kuhunkin hyödykkeeseen liittyen.

Toinen elinkaariperspektiivi liittyy aikaulottuvuuden huomiointiin päästöjen syntyhetken osalta. Useimmat laskentamenetelmät summaavat käyttövaiheen päästöt koko elinkaaren ajalta nykyhetkeen. Tämän seurauksena päädytään usein tulokseen, jonka mukaan rakentamisella ei ole merkittäviä päästövaikutuksia, ainakaan suhteessa käyttövaiheessa aiheutuviin päästöihin. Näin on kuitenkin vain erittäin pitkällä aikavälillä, jolloin tarkasteluun sisältyy oleellinen epävarmuus energiantuotannon päästöjen kehityksen suhteen, kuten aiemmin tässä raportissa esitettiin. Lyhyellä aikavälillä rakentamisvaiheessa aiheutetut hiilidioksidipäästöt dominoivat käytönaikaisia päästöjä, eikä hyvin pitkällä tulevaisuudessa syntyviä päästöjä välttämättä voida rinnastaa lähitulevaisuudessa syntyviin ilmastomuutoksen hillinnästä keskusteltaessa.



### 5.3 Tarkastelun tarkkuustaso

Monissa arviointimalleissa mennään huomattavasti MALTTIa yksityiskohtaisemmalle tarkastelutasolle, kuten esimerkiksi määritettäessä raja-arvoja rakennusten lämmitys- ja viilennysenergian tarpeelle tai ulkoseinien pinta-aloihin ja ikkunoiden suuntiin liittyviä kertoimia käyttövaiheen päästöille. MALTTI laskee näitä samoja asioita, mutta selkeästi karkeammalla tasolla osoittaen vain suuntaviivoja kehitykselle. MALTTI on suunniteltu asuinalue-tason tarkasteluihin ja karkean tason strategisen työn tueksi, eikä laskentamalli sovellu yksittäisen rakennuksen tuottaman hiilikuorman arviointiin. MALTTIn yleislinjana on, että se ei ota kantaa mahdollisiin tietyillä suunnitteluratkaisuilla tulevaisuudessa saataviin hyötyihin ennustamisen suurista epävarmuuksista johtuen.

Kotimaisista kriteeristöistä esim. Honkasuon ekokriteerit asettavat MALTTI-tarkastelujen näkökulmasta melko yksityiskohtaisia vaatimuksia muun muassa vaipan lämmöneristävyydelle sekä rakennusosien, tarvikkeiden ja materiaalien ympäristöominaisuuksille, kotimaisuudelle ja sertifioinneille. Puun käyttö runkoväliseinä- ja välipohjarakenteissa sekä verhoiluissa pisteytetään erikseen. Asuinalue-tasoisissa MALTTI-tarkasteluissa puun tai esimerkiksi matalahiilibetonin valitseminen pääasialliseksi rakennusmateriaaliksi saa aikaan merkittäviä päästösäästöjä pitkälläkin aikavälillä tarkasteltuna, mutta suuri osa edellä mainitun tyyppisistä rakennuskohtaisista kriteereistä jää yksityiskohtaisuudessaan MALTTI-tarkastelujen aluetasoisien toimintakentän ulkopuolelle.

Myös talotekniikan osalta useat kriteeristöt menevät selvästi MALTTIa yksityiskohtaisemmalle tasolle, esimerkiksi arvioitaessa lämmön talteenoton vaikutuksia, kodin laitteiden ja järjestelmien sähkön- ja vedenkulutusta, lämmitysenergian- ja vedenkulutuksen asuntokohtaisia seurantamahdollisuuksia tai talouskohtaisen jätehuollon kierrätys- ja kompostointimahdollisuuksia. MALTTI-tarkasteluissa nämä näkökulmat sisältyvät hyvin karkeasti valintoihin rakennusten energiatehokkuudesta sekä alueen asukkaista. Toisaalta MALTTIn näkökulmasta jätehuollon ja kierrätyksen tehostamisen hyödyt kohdistuvat pääasiassa muihin ympäristövaikutuksiin kuin kasvihuonekaasupäästöihin.

## 6 MALTTI ja maankäytön suunnittelujärjestelmä

Maankäytön kestävä ohjaamisen tukeminen erilaisilla ekolaskureilla on kasvava haaste, jota ratkaisemaan markkinoille on ilmaantunut lukuisa joukko erilaisia työkaluja ja laskureita (Lahti ym. 2012). MALTTIla ei ole kehitetty minkään tietyn maankäytön suunnittelujärjestelmän tason tai osa-alueen tueksi, vaan sen on tarkoitus soveltua käytettäväksi useilla eri tasoilla spesifimpien markkinoilla tarjolla olevien työkalujen tukena. Seuraavassa käydään läpi tätä ohjauksen, työkalujen ja MALTTIn sijoittumisen kokonaisuutta tarkemmin.

### 6.1 Alueiden käytön ja rakentamisen ohjaus Suomessa

Alueiden käyttöä ja rakentamista ohjataan Suomessa Maankäyttö- ja rakennuslain mukaisesti valtakunnallisilla alueidenkäyttötavoitteilla, maakuntakaavoilla, yleiskaavoilla ja asemakaavoilla. Maankäytön suunnittelun yleisestä ohjauksesta vastaa Suomessa Ympäristöhallinto tarkoituksenaan tukea sitä, että kaavoituksessa toteutetaan lainsäädännössä määritellyjä maankäytön suunnittelun tavoitteita ja sisältövaatimuksia. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset ohjaavat ja valvovat kuntien kaavoitusta ja neuvovat maankäytön suunnitteluun liittyvissä kysymyksissä. Yliopistoilla ja muilla tutkimuslaitoksilla on oma roolinsa maankäytön suunnittelussa tutkimustiedon tuottajana ja tutkimustuloksiin perustuvien työkalujen kehittäjänä. MALTTI on esimerkki tällaisesta tutkimustiedosta jalostetusta käytännön työvälineestä.

### 6.2 Valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden asettama haaste

Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet ohjaavat maakuntien ja kuntien kaavoitusta ja viranomaisten toimintaa. Maankäyttö- ja rakennuslaissa alueidenkäytön suunnittelun keskeisimmiksi tavoitteiksi nimetään muun muassa hyvä elinympäristö ja kestävä kehitys. Vuosituhannen vaihteessa voimaan tulleet valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet tarkistettiin ilmastonmuutosteeman osalta 2008. Tarkistetuissa tavoitteissa todetaan muun muassa seuraavaa:

- Alueidenkäytössä tulee edistää energian säästämistä sekä uusiutuvien energialähteiden käyttöedellytyksiä.
- Alueidenkäytössä tulee varautua uusiutuvia ja jäteperäisiä polttoaineita käyttävien energialaitosten ja niiden logististen ratkaisujen aluetarpeisiin osana alueen energia- ja jätehuoltoa.

- Alueidenkäytön suunnittelussa on edistettävä olemassa olevan rakennuskannan hyödyntämistä.
- Yhdyskuntarakennetta kehitetään siten, että palvelut ja työpaikat ovat mahdollisuuksien mukaan asuinalueiden läheisyydessä siten, että henkilöautoliikenteen tarve on mahdollisimman vähäinen.
- Joukkoliikenteen, kävelyn ja pyöräilyn edellytyksiä parannetaan.
- Helsingin seudun liikennejärjestelmää tulee kehittää siten, että se hillitsee ilmastonmuutosta.

Tavoitteet ovat selkeät, mutta parhaista keinoista ja käytännöistä niiden saavuttamiseen ollaan vielä montaa mieltä. Siksi uusinta tutkimustietoa on tärkeää jalkauttaa työkaluiksi käytännön toimijoiden käyttöön. MALTTI auttaa maankäytön suunnittelijaa hahmottamaan erilaisten ratkaisujen todennäköisiä päästöjen vähennysvaikutuksia. Tutkimustietoon perustuvia työkaluja voidaan käyttää myös vallalla olevien uskomusten kriittiseen arviointiin ja toimenpiteiden priorisointiin. Alustavien tarkastelujen valossa vaikuttaa esimerkiksi siltä, että rakentamisen hiilipiikin pienentäminen sekä energiantuotannon ja -kulutuksen optimointi voivat olla jopa yhdyskuntarakenteen eheyttämistä ja henkilöautoilun rajoittamista tehokkaampia keinoja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi.

### 6.3 MALTTI kaavoituksen näkökulmasta

#### Maakuntakaavat

Maakuntakaavoituksella ratkaistaan valtakunnallisia, maakunnallisia ja seudullisia alueiden käytön kysymyksiä sekä ohjataan kuntien kaavoitusta ja viranomaisten muuta alueiden käyttöä koskevaa suunnittelua. Maakuntakaavassa esitetään alueiden käytön ja yhdyskuntarakenteen periaatteet sekä osoitetaan maakunnan kehittämisen kannalta tarpeellisia alueita. Maakuntakaavoituksessa päätetään useista alueiden vähähiilisyyden kannalta keskeisistä asioista. Ympäristöministeriö vahvistaa maakunnan liiton laatiman ja maakunnan liiton liittovaltuuston hyväksymän maakuntakaavan lainvoimaiseksi.

MALTTI-tarkasteluja voidaan hyödyntää maakuntakaavoituksen yhteydessä esimerkiksi energia- ja liikennejärjestelmäratkaisujen kasvihuonekaasupäästövaikutusten arvioinnissa sekä erityisesti etsittäessä keinoja luoda kokonaan uusia entistä matalahiilisempiä asuinalueita. MALTTIn avulla alueiden kasvihuonekaasupäästöjen muodostumista voidaan mallintaa suunnittelun kannalta erittäin tärkeässä suunnittelun vaiheessa. MALTTI näyttää erilaisten suunnitteluratkaisujen vaikutukset suhteessa alueen kokonaispäästöihin erilaisilla

tarkasteluajanjaksoilla ja mahdollistaa eri energiaratkaisuiden tehokkuuden mallintamisen suhteessa rakennusten energiatehokkuuteen, talotyyppeihin, autoiluun ym. tekijöihin.

### **Yleiskaavat**

Yleiskaava, joka on kaupungin tai kunnan yleispiirteinen maankäytön suunnitelma ja ohjaa asemakaavoitusta, on myös monelta osin tärkeä suunnitteluvaihe matalahiilisyyden edistämiseksi. Yleiskaavalla päätetään asutuksen, palvelujen, työpaikkojen, virkistysalueiden ja muiden yhdyskunnan toimintojen sijoittuminen siten, että niiden välille pyritään järjestämään toimivat kulkuyhteydet. Maankäyttö- ja rakennuslain 39 § ohjaa yleiskaavoitusta ottamaan huomioon muun muassa yhdyskuntarakenteen ekologisen kestävyys, olemassa olevan yhdyskuntarakenteen hyväksikäytön ja ympäristöhaittojen vähentämisen. Yleiskaavoituksessa päätetään tarkemmin alueiden vähähiilisyydestä – siinä määrin kuin maakuntakaava luo sille edellytykset. MALTTI-tarkastelut soveltuvat yleiskaavoituksen tueksi erityisesti vähähiilisen asumisen ja liikkumisen suunnittelussa. MALTTI mallintaa aina kokonaishiilijalanjäljen, johon tukeutuen yleiskaavataso suunnittelulla voidaan pyrkiä myös esimerkiksi autottomuuden ja lähipalvelujen edistämisen sekä kulutuksen vähentämisen kautta kestävämpien elämäntapojen edellytysten luomiseen maakuntakaavoitusta paikallisemmin ja usein tehokkaammin.

### **Asemakaavat**

Asemakaavoilla ohjataan rakentamista hyvin tarkalla, rakennusten sijainnin, koon ja käyttötarkoituksen tasolla. Asemakaava voi kattaa vain yhden tontin tai kokonaisen asuntoalueen työpaikkoineen ja viheralueineen. Uuden rakentamisen lisäksi asemakaavoituksella päätetään siitä, mitä olevia rakenteita säilytetään ja mikä raivataan uuden tieltä. Maankäyttö- ja rakennuslain 54 § ohjaa asemakaavoitusta toteutettavaksi siten, että yleiskaavan ohjaavan vaikutuksen puitteissa luodaan edellytykset muun muassa terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle elinympäristölle ja vaalitaan samanaikaisesti luonnonympäristöä. Asemakaavoituksessa MALTTI ei korvaa Honkasuon ekokriteerien tyyppisiä rakennuskohtaisia arviointoja ja suosituksia. Monet alueellisten päästöjen kannalta oleelliset ratkaisut viimeistellään kuitenkin vasta asemakaavoituksessa. Siksi MALTTI-tarkastelujen tulosten ohjausvaikutuksen olisi tärkeää ulottua kaavatasolta toiselle.

## 7 MALTtia alueidenkäytön suunnitteluun

Suunnittelun ohjenuorana käytetään kulloinkin parasta saatavilla olevaa tietoa. Kestävemmän alueidenkäytön suunnittelun apuvälineiksi kehitetyt hiililaskurit tuovat tieteellisen tutkimustiedon käytännön toimijoiden ulottuville. Työkalut tuottavat laskennallisia tuloksia ja lisäävät ymmärrystä tehokkaimmista toimenpiteistä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi alueidenkäytön suunnittelun keinoin. Seuraavassa esitellään joitakin vallalla olevia suunnittelun periaatteita ja käytäntöjä, joiden tapauskohtaisessa tarkoituksenmukaisuuden arvioinnissa voidaan hyödyntää MALTtia ja muita vastaavia työkaluja.

### 7.1 Yhdyskuntarakenteen hajautumisen hallinta

Ympäristöministeriön mukaan eheä yhdyskuntarakenne on alueidenkäytön suunnittelun tärkeimpiä tavoitteita. Asiaa perustellaan sillä, että Suomen taajamissa maata käytetään asukasta kohden moninkertainen määrä muihin länsimaihin ja myös muihin Pohjoismaihin verrattuna, minkä nähdään merkitsevän pidempiä työssäkäynti- ja asiointietäisyyksiä, korkeita infrastruktuurin rakentamis- ja ylläpitokustannuksia sekä korkeita yhdyskuntien päivittäisestä toiminnasta aiheutuvia liikennekustannuksia sekä aiheuttavan runsasta luonnonalueiden ja -varojen kulutusta ja kasvattavan päästöjä. Ympäristöministeriön mukaan yhdyskuntarakenteen eheyttämisellä luodaan edellytykset toimivalle joukkoliikenteelle, tehokkaalle tavarankuljetusjärjestelmälle, palvelujen saavutettavuudelle sekä luonnonalueiden ja -varojen säästämiseksi (Ympäristöhallinto 2012).

Toisaalta kaupungit ovat tyypillisesti, tehokkaasta yhdyskuntarakenteestaan huolimatta, lisääntyneen kulutuksen keskuksia, mikä näyttäisi olevan maailmanlaajuisesti tämän hetken ja lähitulevaisuuden merkittävin ympäristöongelma. Kaupunkien kulutustarve tyydytetään tuotannolla, jonka käyttöön valjastetaan kaupunkien ulkopuolella moninkertaisesti kaupunkeja itseään laajempia ekosysteemejä, joka kuluttaa uhkaavasti loppuun maapallon luonnonvaroja ja joka tuottaa valtavat määrät päästöjä ja jätettä (Rees & Wackernagel 1996; Bithas & Christofakis 2006; Grimm ym. 2008). Jo 20 vuotta sitten Rees & Wackernagel (1996) totesivat tutkimuksessaan, että kaupunkien kehittämisen tulisi ehdottoman ensisijaisesti pyrkiä kulutuksen vähentämiseen. Vastaavasti Grimm ym. (2008) ovat esittäneet, että ekologisen jalanjälkemme kasvaessa meidän tulisi ymmärtää elintapojemme ja kulutusvalintojemme seuraukset laajemmassa mittakaavassa, oman kaupunkimme ulkopuolella ja ajassa oman sukupolvemme jälkeen. MALTti tuo

kulutuksen merkityksen kasvihuonekaasujen näkökulmasta mukaan suunnitteluvaihtoehtojen vertailuun ja mahdollistaa yksinkertaiset aikavertailut. Se myös tarjoaa mahdollisuuden matalahiilisyyteen ohjaamiseen yhdyskuntarakenteen tiiveyttä tai hajaantumista monipuolisempien indikaattoreiden avulla.

## 7.2 Energiantuotanto ja jakelu

Pääkaupunkiseudulla energiankulutusta pyritään pienentämään tiivistämällä yhdyskuntarakennetta ja uudistamalla energiantuotantoa ja -jakelua, esimerkiksi *smart grid* -tekniikan avulla. Lisäksi rakennusten energiatehokkuutta pyritään lisäämään tonttien luovutus- ja vuokrausehtoja muuttamalla. Ehtona voi esimerkiksi olla kaukolämpöverkkoon liittyminen tai lämpöpumpun käyttäminen. Helsinki on tehnyt päätöksen siitä, ettei uudisrakentamisen pääasialliseksi lämmitysmuodoksi sallita suoraa sähkölämmitystä (Ryöti et al. 2008). Helsingin Energia on viime vuosina tehostanut sähkön, lämmön ja jäähdytyksen yhteistuotantoa pyrkimyksensä vähentää hiilidioksidipäästöjä. Yhtiö tavoittelee hiilineutraalia energiahankintaa vuoteen 2050 mennessä (Helsingin Energia 2012).

Energiantuotannon päästöjä voidaan vähentää lukemattomilla eri tavoilla. Toimenpiteet vaativat investointeja sekä taloudellisessa mielessä että kasvihuonekaasupäästöjen suhteen. Toimenpidevaihtoehtoja vertailtaessa on tärkeää selvittää toteuttamisvaiheen hiilipiikki ja suhteuttaa se oletettuihin hyötyihin, sekä hiilipiikin takaisinmaksuaika edelleen päästövähennystavoitteiden aikaperspektiiviin. Myös tulevaisuuden energiaskenaariot on oleellista huomioida. MALTTI antaa perspektiiviä tarkastella mahdollisesti alenevan energiantuotannon hiili-intensiteetin merkitystä suhteessa erilaisiin aluesuunnitteluratkaisuihin ja päästöjen allokointumiseen nykypäivän ja tulevaisuuden suhteen.

## 7.3 Liikennejärjestelmät

Helsingin seudulla tehdään arkipäivisin noin 3,9 miljoonaa matkaa, joista henkilöautoilla 43 prosenttia, joukkoliikennettä käyttäen 22 prosenttia ja muulla tavalla 32 prosenttia (HSL 2011). Pääkaupunkiseudulle saapuu työmatkaliikennettä yli sadan kilometrin säteeltä. Ennusteiden mukaan Helsingin seudulle suuntautuvien työmatkojen määrät nousevat lähes 30 prosenttia vuoteen 2035 mennessä. Suurimman osan työmatkaliikenteen kasvusta ennustetaan tapahtuvan henkilöautoliikenteessä.

Joukkoliikenteen kilpailukykyä suhteessa yksityisautoiluun pyritään lisäämään infrastruktuuriin investoimalla ja liityntäliikenteen toimivuutta parantamalla (Karjalainen 2008). Poikittaisilla ja kehämaisilla liikenneyhteyksillä pyritään

ohjaamaan yhdyskuntarakenteen kehittymistä (Vuolanto 2008). Kevyen liikenteen suosiota pyritään lisäämään muun muassa asemakaavamääräyksillä tonttikohtaisista polkupyöräpaikkojen minimimääristä sekä pyörätieyhteyksien laajentamisella ja yhtenäistämällä (Ryöti et al. 2008).

Väylähankkeiden rakentamisvaiheen hiilipiikki on hyvä selvittää samoista syistä kuin energiantuotannon uudistamiseen pyrkivien toimenpiteiden toteuttamisvaiheen päästöt suhteessa oletettujen hyötyjen toteutumiseen tavoiteajanjaksolla. Lisäksi hiililaskureiden avulla voidaan arvioida karkeasti ihmisten liikkumiskäyttäytymistä uudella alueella olemassa olevilta alueilta kerättyyn tilastotietoon perustuen. MALTTI auttaa myös suhteuttamaan yksityisautoilun aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen muutoksia muihin keinoihin vähentää päästöjä aluesuunnittelun keinoin.

#### 7.4 Rakentaminen

Ympäristöministeriö nimeää ilmastopolitiikkansa keskeisiksi elementeiksi rakennusten, yhdyskuntarakenteen ja liikenteen energiatehokkuuden ja vähäpäästöisyyden. Alueelliseen energiatehokkuuteen ja vähäpäästöisyyteen pyritään energiatehokkaalla rakentamisella ja yhdyskuntarakenteen eheyttämisellä. Rakennuskannan käytönaikaisen energiankulutuksen tulisi Ympäristöministeriön asettaman tavoitteen mukaan olla vuonna 2050 vähintään 60 prosenttia nykytasoa pienempi. (YM 2010)

MALTtin kaltaiset hiililaskurit muistuttavat suunnittelijoita kuitenkin siitä, että kaiken uuden rakentaminen aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä riippumatta siitä kuinka tehokkaita uudet rakenteet ovat. MALTtin kaltaisten laskureiden avulla voidaan näin tarkastella myös sitä, onko pitkällä aikavälillä järkevämpää vain lisätä uudisrakentamista ja pyrkiä keräämään ihmiset kasvukeskuksiin vai vaalia jo olemassa olevien rakennusten ja infrastruktuurin hyödyntämistä.

## 8 Lähteet:

Ala-Mantila S, Heinonen J ja Junnila S 2013. The greenhouse gas implications of urban sprawl in Helsinki Metropolitan Area, *Sustainability*, 5, 4461-4478.

Bithas K P ja Christofakis M 2006. Environmentally sustainable cities: critical review and operational conditions, *Sustainable Development*, 14 (3) 177–89.

Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, Redman C L, Wu J, Bai X ja Briggs J M 2008. Global Change and the Ecology of Cities, *Science*, 319, 756–760.

Hallberg P, Ranta H, Koljonen R ja Haapanala A 2006. Maankäyttö- ja rakennuslaki. 2. uudistettu painos. ISBN 952-14-0961-4.

Heinonen J, Jalas M, Juntunen J, Ala-Mantila S ja Junnila S 2013a. Situated lifestyles I: How lifestyles change along with the level of urbanization and what are the greenhouse gas implications, a study of Finland, *Environmental Research Letters*, 8 (2), 025003.

Heinonen J, Jalas M, Juntunen J, Ala-Mantila S ja Junnila S 2013b. Situated lifestyles II: The impacts of urban density, housing type and motorization on the greenhouse gas emissions of the middle income consumers in Finland, *Environmental Research Letters*, 8 (3), 035050.

Heinonen J, Kyrö R ja Junnila S 2011. Dense downtown living more carbon intense due to higher consumption: a case study of Helsinki, *Environmental Research Letters*, 6, 034034.

Helsingin Energia 2012. Kehitysohjelma kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. Verkkodokumentti. Viitattu 19.10.2012. Saatavissa: <http://helen.fi/ymparisto/uusiutuva.html>.

Helsingin seudun liikenne (HSL) 2011. Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelma. HJL-katsaus 2/11. Verkkodokumentti. Viitattu 15.10.2012. Saatavissa: [http://www.hsl.fi/FI/HLJ2011/Documents/HLJ\\_tivistelm%C3%A4\\_netti.pdf](http://www.hsl.fi/FI/HLJ2011/Documents/HLJ_tivistelm%C3%A4_netti.pdf).

Holopainen T, Santasalo T, Koskela K, Jaakkola A ja Saastamoinen A. 2009. Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 11/2009. Verkkodokumentti. Viitattu 25.11.2012. Saatavissa: [http://www.hel2.fi/ksv/julkaisut/julk\\_2009-9.pdf](http://www.hel2.fi/ksv/julkaisut/julk_2009-9.pdf). ISBN (pdf) 978-952-223-518-3.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Geneva: IPCC).

Karjalainen R (toim.) 2008. Helsingin seudun maankäytön, asumisen ja liikenteen toteutusohjelma 2017. Helsingin kaupungin talous- ja suunnittelukeskuksen julkaisuja 4/2008.



Koski K 2007. Kauppa maakuntakaavoituksessa. Ympäristöministeriön raportteja 23/2007. ISBN (PDF) 978-952-11-2864-6. Verkkodokumentti. Viitattu 06.10.2012. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=75736&lan=FI>.

Lahti P, Heinonen J, Nissinen A, Rehunen A, Seppälä J ja Säynäjoki E 2012. Kaupunkikehityksen ekotehokkuuslaskurit – KEKO A-projektin loppuraportti. Verkkodokumentti. Viitattu 05.11.2013. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2012/VTT-R-08044-12.pdf>.

Rees W ja Wackernagel M 1996. Urban Ecological footprints: why cities cannot be sustainable – and why they are a key to sustainability, *Environmental Impact Assessment Review*, 16, 223–248.

Ristimäki M, Säynäjoki A, Heinonen J ja Junnila S 2013. Combining Life Cycle Costing and Life Cycle Assessment for an Analysis of a New Residential District Energy System Design, *Energy*, 63, 168-179.

Ryöti M, Karjalainen R ja Aronen M-A 2008. Laadukkaan asumisen Helsinki: Maankäytön ja asumisen toteutusohjelma 2008-2017. Helsingin kaupungin talous- ja suunnittelukeskuksen julkaisuja 2/2008.

Säynäjoki A, Heinonen J ja Junnila S 2011. Carbon Footprint Assessment of a Residential Development Project, *International Journal of Environmental Science and Development*, 2 (2).

Säynäjoki A, Heinonen J ja Junnila S 2012. A scenario analysis of the life cycle greenhouse gas emissions of a new residential area, *Environmental Research Letters*, 7 (3), 034037.

Vuolanto T 2008. Kaupungista seutu ja seudusta kaupunki: Helsingin maankäytön kehityskuva. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston julkaisuja 4/2008.

Ympäristöhallinto 2012. Maankäyttö ja rakentaminen. Verkkodokumentti. Viitattu 2012-2013. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=91&lan=fi>.

Ympäristöministeriö (YM) 2010. Ympäristöministeriön tulevaisuuskatsaus 2010: Yhdessä kestävään tulevaisuuteen – Ympäristövastuullinen, osallisuutta tukeva yhteiskunta, monimuotoinen luonto ja hyvinvointia edistävä ympäristö.





Matalahiilisen aluekehityksen tukityökalu MALTTI on kehitetty Aalto-yliopiston Maankäyttötieteiden laitoksella Culminatum Oy:n koordinoimassa LOCO – Työkaluja vähähiiliseen aluerakentamiseen -tutkimushankkeessa vuosina 2011-2013. MALTTI-työkalun tehtävänä on antaa kokonaiskuva uuden asuinalueen rakentamisen ja käytön aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä ja päästöjen ajoittumisesta suhteessa asuinalueen elinkaareen, sekä mahdollistaa eri toteutusvaihtoehtojen vertailuja. MALTTI tuo arviointityökalujen kenttään uusia näkökulmia huomioidessaan ensinnäkin kasvihuonekaasupäästöjen ajoittumisen ja toisekseen eri toimintoihin ja kulutushyödykkeisiin liittyvät koko elinkaaren päästöt. MALTTI auttaa luomaan kuvan siitä, mistä tarkasteltavan alueen kokonaishiilijalanjälki koostuu ja kuinka eri kehitystoimenpiteet vaikuttavat päästökertymään.



ISBN 978-952-60-5729-3 (pdf)  
ISSN-L 1799-487X  
ISSN 1799-487X  
ISSN 1799-4888 (pdf)

**Aalto-yliopisto**  
**Insinöörیتieteiden korkeakoulu**  
**Maankäyttötieteiden laitos**  
**[www.aalto.fi](http://www.aalto.fi)**

**KAUPPA +  
TALOUS**

**TAIDE +  
MUOTOILU +  
ARKKITEHTUURI**

**TIEDE +  
TEKNOLOGIA**

**CROSSOVER**

**DOCTORAL  
DISSERTATIONS**